

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



PROYECTO DE INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO Y FERTILIZACIÓN EN LA FINCA RÚSTICA “AZAGADOR” EN EL T.M. DE ENGUERA (VALENCIA)

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO/A: MIGUEL ÁNGEL CERDÁ ESTEVE

TUTOR/A: VICENTE CASTELL ZEISING

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2015





PROYECTO DE INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO Y FERTILIZACIÓN EN LA FINCA RÚSTICA “AZAGADOR” EN EL T.M. DE ENGUERA (VALENCIA)

Autor: Cerdá Esteve, Miguel Ángel

Trabajo final de grado

Tutor: Vicente Castell Zeising

Realizado en: Valencia

Fecha: Septiembre 2015

Resumen:

En las últimas décadas, conscientes de la existencia del agua como un bien escaso, con previsiones de demanda de agua y alimentos cada vez mayores, desde la administración se ha potenciado el uso de sistemas de producción donde el uso de recursos se realice de forma más racional.

La política de modernización de regadíos, se enmarca dentro de esta nueva visión de un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, sustituyendo regadíos tradicionales de riego por inundación o riego “a manta”, por otros sistemas de riego más eficaces y eficientes, como el riego por aspersión, o el riego localizado o riego por goteo.

El proyecto que se presenta, es un proyecto de instalación de riego localizado y fertilización en la finca rústica denominada “Azagador” en el T.M. de Enguera (Valencia).

En este municipio de la provincia de Valencia, en los últimos años se han llevado a cabo obras de mejora en las zonas de regadío tradicional, pero también, se ha creado la infraestructura necesaria para poner en regadío zonas de secano con cultivo de olivo principalmente y con rendimientos aceptables en años no demasiado secos.

El proyecto de instalación de riego localizado en la finca “Azagador” estudia y valora las necesidades de agua y fertilizantes del cultivo de olivo existente, y los medios necesarios que le permitan obtener una producción óptima con el mayor respeto hacia el medio ambiente.

Palabras clave:

Riego localizado, olivo, Enguera



PROYECT OF TRICKLE IRRIGATION SYSTEM AND FERTILIZATION IN THE CROP FIELD "AZAGADOR" EN THE TOWN OF ENGUERA (VALENCIA)

Author: Cerdá Esteve, Miguel Ángel

Final degree work

Tutor: Vicente Castell Zeising

Made in: Valencia

Date: september 2015

Summary:

In the last decades, the demand forecasts of water and food are growing up. Aware of it, and thinking about water as a limited source, the governments have encouraged to use production systems where we can use resources rationality. The policy of modernizing irrigation, claims to change traditional systems that waste a lot of water for other more effective and efficient, like the sprinkler irrigation, or the trickle one.

This is a project of trickle or drip irrigation in a farming land named "Azagador" with a crop of olives trees in the town of Enguera, Valencia.

In the last years, improvements have been made in crops with traditional irrigation systems. Moreover, infrastructures to make easy this kind of irrigation have been created in crop fields where we can get an enough production in years not too dry.

The project studies and values the needs for water and fertilizers at this crop field, and also the needed environmentally-friendly ways to get an optimal production.

Keywords:

trickle irrigation, olives tree, Enguera



PROYECTE D'INSTALCIÓ DE REG LOCALIZAT I FERTILIZACIÓ A LA FINCA RÚSTICA DE "L'AZAGADOR" AL T.M. DE ENGUERA (VALENCIA)

Autor: Cerdá Esteve, Miguel Ángel

Treball final de grau

Tutor: Vicente Castell Zeising

Realitzat a: Valencia

Data: setembre 2015

Resum:

En les últimes dècades, la previsió de demanda d'aigua i aliments està creixent. Conscients d'això, i pensant en l'aigua com a recurs limitat, l'administració ha fomentat l'ús de sistemes de producció on l'ús de recursos es faça d'una forma més racional. La política de modernització de regadiu, pretén substituir sistemes tradicionals que necessiten molta aigua, per altres més eficaços i eficients, com el de reg per aspersió o el reg per degoteig.

Aquest és un projecte de reg per degoteig a la finca agrària de l'"Azagador", amb un cultiu d'oliveres al T.M d'Enguera, València.

Als últims anys, s'han fet millores en cultius amb sistemes tradicionals de reg. A més, s'han creat la infraestructura necessària per facilitar aquest tipus de regadiu en camps de cultius on es pot obtindre una producció acceptable en anys no massa secs.

El projecte estudia i valora les necessitats d'aigua i fertilitzants a aquest camp de cultiu, així com els mitjans necessaris per aconseguir una producció òptima amb el major respecte al medi ambient.

Paraules clau:

reg per degoteig, olivera, Enguera

AGRADECIMIENTOS:

Al profesor Vicente Castell Leasing, por sus indicaciones y sugerencias en la realización del presente trabajo.

Al instalador de riego localizado de Enguera, Santiago Aparicio López, por sus comentarios y consejos sobre este tipo de instalaciones.

A la Cooperativa de Riegos de Enguera, por la aportación de datos y su colaboración desinteresada.

A mi mujer, Mercedes, y mis hijos Merce y Alejandro, por la paciencia y comprensión demostrada en los últimos meses.

**PROYECTO DE INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO Y FERTILIZACIÓN EN
LA FINCA RÚSTICA “AZAGADOR” EN EL T.M. DE ENGUERA (VALENCIA)**

Documento nº 1

MEMORIA

Autor: Miguel Ángel Cerdá Esteve

PROYECTO DE INSTALACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO Y FERTILIZACIÓN EN LA FINCA RÚSTICA “AZAGADOR” EN EL T.M. DE ENGUERA (VALENCIA)

Índice:

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

1.	Antecedentes. Objeto del proyecto	1
2.	Situación de la finca rústica	2
3.	Descripción de la finca	2
4.	Características climáticas	3
5.	Características del suelo. Análisis del suelo	3
6.	Características del agua. Análisis del agua	4
7.	Diseño agronómico	6
	7.1 Necesidades hídricas del cultivo. Programación de riego	6
	7.1.1 Necesidades de agua para cultivo de olivos adultos	6
	7.1.2 Necesidades de agua para cultivo de olivos de 10 años	15
	7.1.3 Reservas de agua en el suelo	20
	7.1.4 Planificación anual del riego. Programación del riego	20
	7.2 Fertilización	23
8.	Diseño hidráulico	24
	8.1 Subunidades de riego	25
	8.2 Red de distribución	28
	8.3 Cabezal de riego	30
9.	Valoración económica	34
10.	Bibliografía	34

ANEXOS A LA MEMORIA

1.	Datos de la finca
2.	Datos climáticos
3.	Análisis de suelo
4.	Análisis de agua
5.	Cálculos de necesidades hídricas del cultivo
6.	Cálculo diseño hidráulico
	6.1 Subunidades de riego
	6.2 Red de distribución
	6.3 Cabezal de riego
7	Reportaje fotográfico
8	Estudio básico de seguridad y salud

DOCUMENTO N°2: PLANOS

- 1. Plano-1. Plano de situación y localización**
- 2. Plano-2. Plano topográfico e 1:1.000**
- 3. Plano-3. Plano catastral**
- 4. Plano-4. Plano de planta de la finca. Dimensiones, superficies, cotas**
- 5. Plano-5. Plano de planta. Redes de distribución de agua y subunidades e riego**
- 6. Plano-6. Planos detalle de subunidades de riego**
 - 6.1. Planos detalle subunidad de riego 1**
 - 6.2. Plano de detalle subunidad de riego 2**
 - 6.3. Plano de detalle subunidad de riego 3**
 - 6.4. Plano de detalle subunidad de riego 4**
- 7. Plano detalle área mojada y solapes**
- 8. Plano de distribución de árboles**
- 9. Plano planta y alzados caseta cabezal de riego**
- 10. Plano detalle de cabezal de riego**

DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

- 1. Pliego de prescripciones técnicas generales**
- 2. Pliego de prescripciones técnicas de condiciones particulares**

DOCUMENTO N° 4: PRESUPUESTO

- 4.1. Mediciones**
- 4.2. Cuadro de Precios n°1 Precios unitarios**
- 4.3 Cuadro de Precios n°3 Precios de las unidades de obra**
- 4.4 Cuadro de Precios n°4 Precios descompuestos**
- 4.3 Precios descompuestos por naturaleza de costes**
- 4.4 Presupuestos parciales**
- 4.5 Resumen general del Presupuesto**

1.- ANTECEDENTES Y OBJETO DEL PROYECTO

En los últimos años, conscientes de la existencia del agua como un bien escaso, y con previsiones de demanda cada vez mayores, desde la administración se ha potenciado la sustitución de los regadíos tradicionales de superficie “a manta”, por sistemas de regadío más eficaces y eficientes con el uso del agua.

El municipio de Enguera no ha sido una excepción de esta política de mayor racionalización del uso de las reservas de agua. En este municipio se han realizado proyectos y obras de mejora y modernización de regadíos tradicionales, sustituyéndolos por otros sistemas de regadío alternativos, principalmente de riego localizado o riego a “goteo”.

Al contrario que en otros municipios colindantes, como el municipio de Anna, en Enguera apenas se hace uso de agua superficial para riego, ya que ésta se limita a algunas fuentes de escaso caudal. Así pues, la mayor parte de su regadío procede de acuíferos subterráneos (acuífero del Macizo del Caroig). La modernización de los regadíos existentes, la puesta en explotación de un nuevo pozo, la reestructuración e interconexión de los pozos existentes, y la construcción de balsas reguladoras de riego a cotas más elevadas, ha permitido la posibilidad de convertir zonas tradicionales de secano con cultivo tradicional de olivo y de frutales, en nuevas zonas de regadíos.

Toda esta infraestructura creada, es gestionada por una cooperativa de regantes, la Cooperativa Valenciana de Riegos de Enguera.

La finca rústica objeto del estudio es una finca con cultivo de olivos adultos de más 90 años de edad en su mayor parte, junto con olivos de 10 años de edad, representando estos últimos aproximadamente el 14% del total de los olivos de la finca. Estos olivos jóvenes se encuentran plantados en uno de los cuatro bancales que conforman la finca.

Aunque el olivar se ha cultivado tradicionalmente en condiciones de secano, y es un cultivo bien adaptado a los secanos mediterráneos, con producciones aceptables, y capaz de sobrevivir a periodos de intensa sequía, desde hace tiempo se ha comprobado experimentalmente que la práctica del riego aumenta significativamente el rendimiento del olivar (Barranco et al., 2001).

La puesta en regadío de esta finca, como en la mayoría de las fincas de esta zona de Enguera con cultivo predominante de Olivo de secano, permitirá disponer de riegos de apoyo en momentos críticos y periodos de sequía, asegurando que en ningún momento se alcance el punto de marchitez de este cultivo, lo que redundará en una mayor producción.

En el momento de redactar este proyecto, la red primaria de distribución de agua desde las balsas de regulación hasta “pie” de parcela ya está realizado. La finca tiene ya a su disposición toma de agua a “pie” de parcela, pero todavía no se riega a falta de realizar las instalaciones necesarias para ello, cabezal de riego, y conducciones de distribución, y emisores hasta pie de árbol.

El objeto de este proyecto será el estudio de necesidades hídricas y fertilizantes para el cultivo del olivo existente en la finca, así como el diseño y la programación del riego y fertilización del mismo. Se valorará la instalación de los medios necesarios para el funcionamiento de un sistema de riego localizado o “riego por goteo” en esta finca. El resto de cultivos existentes en la finca como, algarrobos, almendros, granados, nogal, etc. tan solo tienen presencia testimonial, por lo que no se tendrán en cuenta en los trabajos cálculo y diseño mencionados.

2.- SITUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA

La finca rústica “Azagador” objeto del proyecto se encuentra en la Partida de Benacantil-Carañana en el municipio de Enguera (Valencia), en la comarca de la Canal de Navarrés, al suroeste de la provincia de Valencia.

La finca se encuentra situada a unos 2 Km al suroeste del núcleo urbano de Enguera, junto a la carretera CV-590 Ayora-Gandía a su paso por este municipio.

Dicha carretera divide la finca en dos parcelas de dos polígonos catastrales diferentes, ya que dicha carretera ejerce de límite de polígono catratal.

La finca se encuentra inscripción en el Registro de la propiedad de Enguera.

Tomo: 743 Libro: 143 Folio: 198 Inscripción: 6ª Fecha: 9/02/2007
Finca de Enguera Nº: 714

Pol. 10 Parcela 170:

Referencia catastral: 46120A010001700000BZ
Superficie = 0,1476 ha

Pol. 11 parcela 750:

Referencia catastral: 46120A011007500000BE
Superficie = 0,9065 ha

Superficie total de la Finca: 1,05ha

Cultivo: Olivo

Variedades: ‘Hojiblanca’, ‘Cornicabra’, ‘Villalonga’.

3.- DESCRIPCIÓN DE LA FINCA

La finca objeto de este estudio es una finca rústica de pequeña superficie en régimen de explotación familiar, característica de este municipio y de gran parte de las explotaciones agrícolas de la Comunidad Valenciana. Se compone de dos parcelas separadas por la carretera CV-590 Ayora-Gandía. La parcela más pequeña, Par.170 Pol. 10, situada a mayor cota, se encuentra al lado izquierdo de esta carretera en sentido Ayora, y está compuesta de un solo bancal con una superficie de 0,14 ha aprox. La otra parcela de mayor tamaño, se encuentra en el lado derecho de la carretera mencionada. Esta parcela esta compuesta por tres bancales o subparcelas de diferentes dimensiones.

Aunque la orografía de la zona tiene pendientes considerables (entre el 12 y 17%), las parcelas objeto de este estudio se encuentran abancaladas con pendientes suaves que incluso permitirían en algunos casos con ligeros movimientos de tierra, el riego a manta llegado el caso.

La finca tiene como cultivo predominante el olivo, aunque posee también en los márgenes de las parcelas otros cultivos como almendros (7), algarrobos(4), un nogal, granados (3), un manzano, y un pino piñonero.

Los olivos cultivados, en secano, tienen una edad aproximada de 90 años, excepto los situados en el bancal de menor cota, que se plantaron hace ahora 10 años.

Desde finales de los años ochenta, la técnica de cultural empleada en la finca es la de “No Cultivo”.

La finca dispone de un total de 145 olivos aproximadamente.

La finca dispone de buenos accesos ya que está junto a una carretera y además dispone de un camino de servicio para acceder a cada una de las subparcelas.

La finca no dispone de suministro eléctrico.

4- CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

La finca, tiene un clima según la clasificación climática de UNESCO-FAO de “templado medio del tipo termomediterráneo atenuado con invierno moderado”.

La clasificación climática según THORWAITE, es: Mesotérmico DdB₁ a'

Estos datos se han obtenido del Trabajo Conjunto de Fin de Carrera “Estudio de las aguas de riego de la comarca de la Canal de Navarrés” de Nov-1989 en la EUITA de UPV del mismo autor de este estudio.

Los datos climáticos utilizados para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo se han obtenido de los datos publicados por el Servicio de Tecnología del Riego del IVIA¹ de la Estación Meteorológica de Bolbaite, municipio de la Canal de Navarrés.

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

5.- CARACTERÍSTICAS DEL SUELO. ANÁLISIS DE SUELO

El olivo es un cultivo con una amplia área de distribución en el mundo, cultivándose en una vasta diversidad de suelos. En la cuenca mediterránea, principal zona olivarera mundial, se cultiva mayoritariamente, aunque no de forma única, sobre suelos calcáreos.

La adaptabilidad del olivo a la variada naturaleza del suelo, no quita, sin embargo, para que la productividad del cultivo pueda verse limitada por la condición de aquél.

Para el análisis de las características del suelo de la finca objeto del estudio, se realiza un ensayo de suelos cuyos resultados se muestran en el anexo-3 de los Anexos a la Memoria.

Las características físicas nos indican que se trata de un suelo con moderada estructuración, de textura franca.

De las características químicas se observa que se trata de un suelo básico, típico de suelos de la Comunidad Valenciana, pero con un pH de 8,9 que resulta muy elevado. En cuanto a la salinidad del suelo, con 44,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no presenta problemas de salinidad. Presenta, con un nivel de 2,43%, un nivel aceptable de materia orgánica total. Con capacidad de intercambio catiónico moderado, el complejo de cambio está saturado, siendo el calcio (Ca^{++}) el catión predominante en las posiciones de cambio.

Presenta elevados contenidos en carbonatos y caliza activa, siendo medios los de nitrógeno.

Las características químicas son adecuadas para el cultivo, y únicamente el elevado contenido en carbonato cálcico, y el elevado pH puede llegar a ser limitante al dificultar la asimilación de oligoelementos como Fe, Mn, Zn, y Cu, llegando a producirse carencias de los mismos, como la muy típica carencia de hierro o clorosis férrica.

La elevada basicidad del suelo será un factor a tener en cuenta en la fertirrigación con riego localizado, donde se deberá acidificar la solución fertilizante mediante el empleo de ácido fosfórico, o nítrico, con el fin de mejorar la asimilación de oligoelementos y de facilitar la disolución de carbonato cálcico que puede llegar a obstruir los emisores.

6- CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. ANÁLISIS DE AGUA.

El agua disponible para el riego de la finca objeto de este proyecto procede del pozo Murre-I propiedad de la Cooperativa de riegos de Enguera, situado en una zona próxima a la finca.

Para conocer la aptitud de este agua para uso agrícola es importante conocer su contenido en sales. El nivel de concentración de sales en la solución del suelo afecta decisivamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, en la mayor o menor dificultad para asimilarlos a través de los procesos de osmosis, y afecta en cuanto a posibles carencias y toxicidades de los nutrientes en los cultivos, y también a la estructura física del suelo, pudiendo influir en la formación o dispersión de agregados de los coloides del suelo (arcillas y humus), y por tanto en que la estructura del mismo sea más o menos porosa y permeable.

Para determinar las características y calidad agronómica del agua de riego a utilizar en la finca, se utilizan los datos de un análisis de agua realizado en abril de 2014 por la Cooperativa de Riegos de Enguera propietaria del pozo del "Murre I", (anexo-4).

En dicho análisis físico-químico se observan los parámetros de pH, conductividad eléctrica, y el nivel de concentración de sales.

a)- ACIDEZ DEL AGUA.

La acidez del agua medida a través del nivel de pH ó concentración del ión H^+ , podemos observar que tiene un valor de 7,94, alto, pero dentro de unos valores normales.

b)- CONDUCTIVIDAD Y SALINIDAD.

La conductividad es un parámetro que depende directamente de la concentración de sales. Cuanto mayor sea la concentración de sales en la disolución, mayor será la conductividad. Por tanto, si la conductividad tiene unos valores elevados, la concentración de sales en la disolución también será elevada.

La conductividad del agua, medida a 25 °C, tiene un valor de 0,51 $mS.cm^{-1}$, por lo que está dentro de valores óptimos. Desde el punto de vista de la conductividad, este agua tiene una calidad buena. En cultivo de olivo se aceptan valores de hasta 3 $mS.cm^{-1}$

c)- CLORUROS

El nivel de cloruros, se considera apto para uso agrícola, si su concentración está por debajo de 175 $mg.L^{-1}$. Una concentración entre 175 y 290 $mg.L^{-1}$ sería un agua para uso solo de cultivos tolerantes, y no apta para concentraciones mayores.

Con 17 $mg.L^{-1}$ la concentración de Cl^- resulta con un nivel bastante bajo, y por tanto apta para el riego.

d)- SULFATOS

Con 28 $mg.L^{-1}$ la concentración de SO_4^- resulta con un nivel bastante bajo. El agua resulta apta aunque por debajo incluso de los niveles óptimos (entre 55-750 $mg.L^{-1}$).

e)- NITRATOS

Con 4 $mg.L^{-1}$ la concentración de NO_3^- resulta con un nivel bastante bajo, resultando también apta para el riego.

f)- SODIO

El exceso de ión Na^+ , además de sus aspectos químicos, también tiene repercusiones sobre la composición física del suelo, actuando como favorecedor de las fuerzas repulsivas en la disgregación de los coloides del suelo, favoreciendo con ello la dispersión de los coloides en partículas más finas, y disminuyendo con ello el volumen de poros, y con ello, favoreciendo la degradación de la estructura del suelo.

El nivel de sodio obtenido en el analisis es de 9 $mg.L^{-1}$, lo que resulta bastante bajo, por lo que no representa ningún problema la concentración de sodio en esta agua de riego.

g)-MICROELEMENTOS

El nivel de concentración de Boro se suele observar por posibles problemas de toxicidad. El nivel en la muestra es de una concentración menor de 0.01 mg.L^{-1} , por lo que no presentará ningún problema de toxicidad.

7- DISEÑO AGRONÓMICO

7.1- NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO.

Para el cálculo y diseño de una instalación de riego localizado, previamente se debe conocer cuáles son las necesidades agronómicas de agua del cultivo establecido en la finca.

En base a las características del cultivo, a sus características culturales, y a la climatología de la zona, se realiza una estimación agronómica de las necesidades de agua de riego del cultivo para una máxima producción.

Para el cálculo de estas necesidades de agua del cultivo, se tendrá en cuenta la existencia de olivo adulto en 3 parcelas de la finca, y olivo joven en formación, de 10 años de edad, en una cuarta parcela.

En la Parc. 170 Pol.10: olivo adulto

En la Parc. 750 Pol.11: Subparcelas 1 y 2: olivo adulto
Subparcela 3: Olivo de 10 años

En primer lugar, se calcula las necesidades teóricas de agua del cultivo para el olivar adulto y posteriormente las calcularemos para el olivar joven de 10 años de edad.

7.1.1- NECESIDADES DE AGUA PARA OLIVO ADULTO:

Datos de partida:

- Cultivo : olivo adulto
- Marco de plantación: $8 \times 8 \text{ m}$
- Diámetro aéreo estimado: $D_a=7 \text{ m}$
- Conductividad del agua de riego: $CE_w = 0,51 \text{ dS.m}^{-1}$
- Textura del suelo: franca
- Caudal disponible en hidrante que abastece la finca: $10 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Presión disponible en el hidrante: 5,7 bar
- Superficie total regable de olivo adulto: $8.340,62 \text{ m}^2$

Cálculo ETo para olivos adultos:

Para la realización de los cálculos agronómicos de necesidades de agua en el cultivo de olivo existente en la finca "Azagador" en el T.M. de Enguera, se calcula en primer lugar el valor de la evapotranspiración de referencia ETo.

La evapotranspiración ETo, o evapotranspiración de referencia, cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera y equivale a la evapotranspiración de una pradera de gramíneas de 8-10 cm de altura que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades.

Para el cálculo inicial de la ETo se utiliza la *expresión de Hargreaves*, que permite dicho cálculo con datos de temperatura y radiación locales, según la expresión:

$$ET_o = 0,23 \cdot Ra \cdot (T_m + 17,8) \cdot (T_{mx} - T_{min})^{1/2}$$

ETo: evapotranspiración de referencia

Tmx: Tª media de las máximas

Tmin: Tª media de las mínimas

Tm: Tª media del periodo considerado

Ra: Radiación extraterrestre (mm/día)

Los datos de radiación solar, temperaturas, y precipitación se obtienen de datos medios climáticos registrados en el Observatorio Meteorológico de Bolbaite, en el T.M. de Bolbaite (Valencia), registros realizados desde su apertura en junio de 2006 hasta la actualidad, en mayo de 2015, con un periodo total de registros de datos de 9 años.

Los datos climáticos recogidos pueden consultarse en el Anexo-2 de la Memoria.

Resumen por meses del cálculo ETo para olivos adultos:

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Radiación (Est.Bolbaite)	7,58	10,00	14,33	17,45	21,79	24,04	23,92	20,49	15,85	11,61	7,90	6,68
Tª media (°C)	8,99	9,50	11,82	14,65	18,25	22,77	25,19	25,11	21,60	17,54	12,28	8,88
TªMax (°C)	15,25	15,47	18,53	21,37	25,61	30,03	32,77	32,44	28,76	24,38	18,31	15,20
TªMin (°C)	3,45	3,88	5,72	8,43	11,29	15,88	18,20	18,75	15,68	11,83	7,16	3,49
(Tm+ 17,80)	26,79	27,30	29,62	32,45	36,05	40,57	42,99	42,91	39,40	35,34	30,08	26,68
(Tmx-Tmin) ^{1/2}	3,44	3,40	3,58	3,60	3,78	3,76	3,82	3,70	3,62	3,54	3,34	3,42
ETo (mm/día)	1,60	2,14	3,49	4,68	6,84	8,44	9,03	7,48	5,20	3,34	1,82	1,40
ETo (mm/mes)	49,73	59,85	108,32	140,54	211,93	253,10	279,85	232,02	155,87	103,64	54,73	43,47

Donde se observa que el mes con mayores necesidades hídricas es el mes de julio.

Se calculan las necesidades de agua para el mes de mayor demanda.

1.- Cálculo de necesidades netas de riego para el periodo de máximas necesidades:

Para su cálculo se aplica la fórmula,

$$NRn \text{ (mm/mes)} = ETo \text{ (julio)} \cdot K_c \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 - P_e$$

donde,

- **K_c**, es la cte. correctora del cultivo. Para el mes de julio, estimamos un valor de **K_c = 0,55**

K_c, la constante del cultivo, que ajusta la evapotranspiración potencial de referencia, ETo, con la evapotranspiración del cultivo teniendo en cuenta la climatología de la zona y las características propias del cultivo.

El coeficiente de cultivo K_c para el cultivo del olivo se estima que, como consecuencia de su adaptación al medio, K_c no es constante a lo largo del año, variando entre valores máximos en primavera y otoño, y valores mínimos en verano.

El olivo, como planta que ha evolucionado y adaptado al clima mediterráneo, mantiene un balance especial entre fotosíntesis y transpiración. Mientras que la casi totalidad de cultivos herbáceos, seleccionados desde tiempo inmemorial por su productividad, tienden a mantener sus estomas totalmente abiertos aceptando tasas de transpiración elevadas necesarias para mantener al máximo el nivel de flujo de CO₂ y las tasas de fotosíntesis, el olivo, como muestra de dicha adaptación, tiene un comportamiento estomático, (Feres, (1984), que le permite maximizar la fotosíntesis por unidad de agua consumida (máxima eficiencia en transpiración).

En su estudio de medición del comportamiento estomático de las hojas del olivo, Feres, en 1984, pudo comprobar en condiciones de abundante agua, el comportamiento característico de los estomas de las hojas del olivo en comparación con las del girasol. Mientras este último mantuvo los estomas totalmente abiertos durante todo el día, el olivo mostró la máxima apertura estomática (máxima conductancia estomática) en las primeras horas de la mañana, reduciendo esta apertura estomática en las horas centrales del día a menos del 50% de la conductancia estomática observada en el girasol.

Este comportamiento tiene un gran valor adaptativo en condiciones limitantes de agua, puesto que en las primeras horas de la mañana, el déficit de presión de vapor (DPV) de agua es mínimo, llegando a su máximo en el mediodía solar, y puesto que la transpiración es directamente proporcional al DPV, en las primeras horas de la mañana, la mayor apertura de estomas permite a la planta la entrada de CO₂ a un coste transpirativo menor que al mediodía.

El cierre parcial de estomas en las horas centrales del día, supone necesariamente un descenso de las tasas de fotosíntesis del olivo durante estas horas, hecho que el olivo compensa por su naturaleza perenne. Al vegetar durante todo el año, la productividad anual de un olivar sin limitación hídrica supera a la de la mayoría de los cultivos herbáceos que pueden competir con él en climas similares.

- **K₁**, es el factor corrector por localización y depende del área de sombreado de la planta. A mayor tamaño de la copa del árbol, mayor zona de sombreado. Cuanta mayor zona de sombreado, mayor evapotranspiración del cultivo, y menor evaporación en el suelo.

Es el coeficiente reductor que calibra el efecto del desarrollo del cultivo teniendo en cuenta la superficie del terreno cubierta por la copa. Para un olivar recién plantado el K₁ tomaría un valor próximo a 0, hasta 1 para un olivar adulto e intensivo en condiciones de riego.

Para el cálculo del valor de K₁, se calcula previamente el área de sombreado de la planta,

$$A = \pi \cdot D_a^2 / 4 \cdot a \cdot b = \pi \cdot 7^2 / 4 \cdot 8 \cdot 8 = 0,60$$

siendo,

D_a , es el diámetro aéreo de la planta, en m

a , es la distancia entre plantas dentro de una misma fila de árboles, en m

b , es la distancia entre filas de árboles, en m

y K_1 , calculado por el método clásico según las fórmulas de:

$$\text{ALJIBURY: } K_1 = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,60 = 0,804$$

$$\text{DECROIX: } K_1 = 0,1 + A = 0,1 + 0,60 = \underline{0,7}$$

$$\text{HOARE ET AL.: } K_1 = A + 0,5 (1 - A) = 0,6 + 0,5 (1 - 0,6) = \underline{0,8}$$

$$\text{KELLER: } K_1 = A + 0,15 (1 - A) = 0,6 + 0,15 (1 - 0,6) = 0,66$$

Se desechan los dos valores extremos, y se obtiene la media de los dos restantes,

El valor será, **$K_1 = 0,75$**

- K_2 , corrección por variación climática, provocado por la variación climática de un año a otro. Se toma como valor para **$K_2=1,2$** . Supone un incremento de un 20% las necesidades estimadas.

- K_3 , corrección por advección, provocado por el microclima de la zona, depende del terreno que rodea a la finca. Su cálculo se establece mediante una gráfica. Para árboles, y para el tamaño de la finca, aprox. 1 ha, consideramos el valor de **$K_3= 1$** , por lo que no influye en el cálculo de necesidades.

- P_e , la precipitación efectiva se calcula a partir de los datos medios de precipitación mensual, aplicando la fórmulas siguientes,

$$\text{Si: } P < 75 \text{ mm/mes: } P_e = 0,60 \cdot P - 10 =$$

$$\text{Si: } P > 75 \text{ mm/mes: } P_e = 0,80 \cdot P - 25 =$$

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Precipitación (mm/mes)	105,44	42,86	77,82	51,43	39,66	18,89	6,29	9,13	88,06	94,98	83,90	36,48
P efectiva (mm/mes)	59,35	15,72	37,26	20,86	13,80	1,33	-6,23	-4,52	45,45	50,98	42,12	11,89

La precipitación efectiva en el mes de julio resulta un valor negativo.

Con todos los datos obtenidos, se calcula las necesidades de riego netas para el mes de mayor demanda:

$$\text{NRn} = E_{To} (\text{julio}) \cdot K_c \cdot K_1 \cdot K_2 - P_e = 279,85 \cdot 0,55 \cdot 0,75 \cdot 1,2 - (-6,23) = \underline{\underline{144,76 \text{ mm/mes}}}$$

2.- Cálculo de necesidades totales de riego para el periodo de máximas necesidades:

Las necesidades totales de riego, se calcula mediante estas dos expresiones, tomando el valor de la mayor de ellas:

$$NT_r = NR_n / UE (1 - LR) =$$

o bien,

$$NT_r = NR_n / UE \cdot EA =$$

Donde,

- UE, es el factor corrector por la uniformidad en la emisión. Se considera un valor de **UE = 0,95**
- LR, es el factor corrector que tiene en cuenta la salinidad del agua de riego. El LR o fracción de lavado en el riego localizado se calcula como,

$$LR = CE_w / 2 \cdot CE_{es},$$

donde ,

CE_w, es la conductividad eléctrica del agua de riego, que en este caso es CE_w= 0,51 dS.m⁻¹

y CE_{es}, corresponde con el valor de la conductividad máxima del extracto de saturación que produce mermas del 100% de la producción.

En el cultivo del olivo es, CE_{max} = 15 dS.m⁻¹, según se aprecia en el cuadro adjunto:

Conductividad máxima del extracto de saturación que produce mermas del 100% de la producción (dS/m)					
HORTICOLAS	CE _{max}	FRUTALES	CE _{max}	EXTENSIVOS	CE _{max}
Fresa	4,5	Aguacate	6,0	Frijoles	6,0
Judía	6,0	Banana	7,0	Alfalfa	16,0
Zanahoria	8,0	Morera	8,0	Lino	11,0
Cebolla	8,0	Albaricoquero	7,0	Cacahuete	7,0
Lechuga	9,0	Almendro	7,5	Habas	13,0
Rábano	10,0	Ciruelo	7,5	Caña de azucar	15,0
Pepino	10,0	Melocotonero	7,0	Lenteja	15,0
Berenjena	11,0	Manzano	8,5	Arroz	13,0
Pimiento	12,0	Naranja	9,0	Maiz	11,0
Patata	10,0	Limonero	9,0	Soja	11,0
Col	11,0	Peral	8,5	Avena	15,0
Sandía	12,0	Nogal	9,0	Trigo	22,0
Melón	15,0	Pomelo	9,0	Sorgo	20,0
Tomate	16,0	Vid	13,0	Girasol	18,0
Calabaza	14,0	Granado	15,0	Azafrán	16,0
Brócoli	16,0	Algarrobo	15,0	Coiza	20,0
Apio	14,0	Higuera	15,0	Remolacha Az.	26,0
Espinaca	16,0	Olivo	15,0	Algodón	30,0
Espárrago	20,0	Palmeda dat.	35,0	Cebada	32,0

Y el valor de la fracción de lavado será,

$$LR = CE_w / 2 \cdot CE_{es} = 0,51 / 2 \cdot 15 = 0,017$$

- EA, es el coeficiente corrector por eficiencia en la aplicación (EA) debido a pérdidas por percolación, y según la tabla adjunta,

CLIMAS ARIDOS				
Profundidad Radicular (cm)	TEXTURA			
	Gravosa	Gruesa	Media	Fina
< 75 cm	0.85	0.90	0.95	0.95
75 a 150 cm	0.90	0.90	0.95	0.95
> 150 cm	0.95	0.95	1.00	1.00
CLIMAS HUMEDOS				
Profundidad Radicular (cm)	TEXTURA			
	Gravosa	Gruesa	Media	Fina
< 75 cm	0.65	0.75	0.85	0.90
75 a 150 cm	0.75	0.80	0.90	0.95
> 150 cm	0.85	0.90	0.95	1.00

Para el cultivo de olivo, con raíces profundas, a efectos de cálculo se considera de 1m de profundidad por seguridad, y para terreno de textura franca, el valor de la eficacia en la aplicación será, **EA=0,95**

Por tanto, de las fórmula anteriores, con los datos mencionados, se tiene que,

$$NT_r = NR_n / UE (1 - LR) = 144,76 / 0,95 \cdot (1-0,017) = 155 \text{ mm/mes}$$

$$NT_r = NR_n / UE \cdot EA = 144,76 / 0,95 \cdot 0,95 = 160,40 \text{ mm/mes}$$

De los dos valores se tomará el mayor,

Por tanto, las necesidades de riego totales para los olivos adultos, serán para el mes de mayor demanda (julio) las siguientes:

En el mes,

$$NT_r = \underline{\underline{160,40 \text{ mm/mes}}}$$

Por día,

$$NT_r = \underline{\underline{5,17 \text{ mm/día}}}$$

Por árbol, y día

$$NT_r = \underline{\underline{331,14 \text{ l/árbol/día}}}$$

3.- Selección del emisor. Caudal nominal:

El área a mojar por un emisor (Am) a partir de la siguiente fórmula será,

Area mojada por un emisor, $A_m = \pi \cdot D_m^2 / 4$

Donde, D_m es el diámetro mojado por el emisor.

Para un suelo de textura media, o textura franca, el diámetro mojado se calcula a partir de la fórmula,

$D_m = 0,7 + 0,11 \cdot q$, siendo q el caudal ($L \cdot h^{-1}$) del emisor elegido (por tanteo).

Se considera un emisor de $q = 8,4 L \cdot h^{-1}$,

$D_m = 0,7 + 0,11 \cdot 8,4 = 1,624 m$

y $A_m = \pi \cdot 1,624^2 / 4 = 2,071 m^2$

El porcentaje (P) de suelo mojado para cultivos leñosos se recomienda que sea el 33% del total de la superficie regable.

Para un marco de plantación de $8 \times 8 m$, es decir, $64 m^2$ por planta, para mojar el 33% de esta superficie, será necesario mojar un total de :

Superficie a mojar por árbol: $64 m^2 \times 33/100 = 21,12 m^2$

Para poder mojar esta superficie, el nº de goteros o emisores necesarios será:

$n_e = a \cdot b \cdot P / 100 \cdot A_m = 8 \cdot 8 \cdot 33 / 100 \cdot 2,071 = 10,20$ emisores por planta.

donde,

$a \cdot b$, son las dimensiones del marco de plantación, distancia entre plantas en una misma fila, y b distancia entre filas de plantas.

P , es el porcentaje de tierra a mojar.

Para conocer el nº de emisores necesarios por m^2 (n_e):

$N_e \geq 1/A_m \times (P/100)$

$N_e \geq (1/2,071) \times (33/100) = 0,1593$ emisores por m^2 , o lo que es lo mismo 1 emisor cada $6,28 m^2$.

Es decir, para un marco de plantación de $8 \times 8 m$, habría que instalar 10,20 emisores por planta, ó 6 emisores por línea aprox., de un caudal de $8,4 L \cdot h^{-1}$

Cada línea de árboles, dispondrá de dos líneas de tuberías laterales con emisores.

Para calcular la separación entre emisores dentro de una misma línea:

$Sl \times Se = 1/n_e$, donde Sl es la separación entre filas de árboles

$Se = (1/n_e) / Sl$

Considerando que hay 2 líneas por árbol, $Se = (1 / 0,1593) / 4 = 1,57$ m de distancia entre emisores de una misma línea.

La separación entre emisores debe considerar un solape del área mojada entre el 10-20 %. Para el diseño que se requiere, se considera un solape entre el área mojada por los emisores de un 15%:

$a\% = S \times 100 / r$, de donde el solape, $S = (a/100) \times r = (15/100) \times 0,812 = 0,12$ m de distancia de solape.

Y la separación entre emisores, considerando este solape,

$$Se = Dm/2 \times (2 - 15/100) = 1,624/2 \times (1,85) = 1,5022 \text{ m}$$

Se tomará, pues, una separación entre emisores dentro de una misma línea de 1,50 m.

La distribución de emisores y el área mojada con los solapes entre ellas, puede verse en el plano nº-7- "Plano de detalle de área mojada y solapes".

A efectos de dimensionamiento hidráulico, el campo con olivos jóvenes de 10 años se considerará como si ya fuesen olivos adultos, ya que en breves años las necesidades de éstos también serán las de olivos adultos.

De los emisores disponibles, que cumplan con los requisitos exigidos de caudal y área mojada, se utiliza a efectos de cálculo, un gotero pinchado y autocompensante, autolimpiante, como por ejemplo el modelo "Katif" de un caudal $q = 8,4 \text{ L. h}^{-1}$.

El tipo de emisor "Katif" se muestra en el anexo-5- Cálculo de necesidades de agua.

4.- Cálculo del tiempo de riego e intervalo máximo:

La dosis de agua para el mes de mayor requerimiento hídrico, será:

$$D_r = n_{e-\text{árbol}} \cdot q_e \cdot T =$$

Donde,

$n_{e-\text{árbol}}$, número de emisores por árbol

q_e , caudal (L/h) de los emisores, y

T es el nº de horas de riego

Dado que el riego localizado se caracteriza por ser un riego de alta frecuencia, se considera un intervalo de riego, I, diario.

$$I = 1 \text{ día}$$

$$\text{La dosis de riego, } D_r = N T_r - \text{árbol} \cdot I =$$

Igualando ambas expresiones para el cálculo de la dosis de riego, y despejando T, el tiempo de riego calculado es:

$$T = NT_{\text{r-árbol}} \cdot l / n_{\text{e-árbol}} \cdot q_e = 331,14 \cdot 1 / 10,66 \cdot 8,4 = 3,7 \text{ horas} \langle \rangle 3 \text{ horas y } 42 \text{ min} \sim \underline{\underline{3 \text{ h y } 45 \text{ min}}}$$

5.- Cálculo del caudal requerido por unidad de superficie:

El caudal total requerido para el riego de toda la finca, es:

$$Q_{\text{requerido}} = n_e \cdot q_e \cdot S / a \cdot b = 10,66 \cdot 8,4 \cdot 9879,62 / 64 = 13.822,82 \text{ l/h} \langle \rangle \underline{\underline{13,82 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \langle \rangle 3,83 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

6.- Determinación del número de sectores que deberá tener la instalación:

El caudal requerido, $Q_r = 13,82 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

El caudal disponible, $Q_d = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

El número de sectores,

$$NS = Q_r / Q_d = 13,82 / 10 = 1,38 \text{ sectores}$$

Será necesario, pues, un mínimo de **2 sectores** en la instalación.

Además, se debe tener en cuenta que en la finca existe una parcela con olivos jóvenes, que aunque a nivel de diseño hidráulico, debe de considerarse con las mismas necesidades de agua que los olivos adultos, en previsión de que en breves años así será, en la actualidad, a nivel de diseño agronómico, debe tenerse en cuenta que las necesidades de estos árboles jóvenes serán menores que las de los olivos adultos, es decir el nº de horas de riego de estos árboles serán menores.

Por ello, esta parcela debe poder regarse de forma individual al resto de la finca.

Así pues, de los dos sectores previstos, uno será para regar exclusivamente estos olivos jóvenes. Hay que comprobar si las necesidades de riego en las tres parcelas con olivos adultos superan o no el caudal disponible.

Se calcula el caudal requerido considerando sólo la superficie que ocupan los olivos adultos:

$$Q_{\text{requerido}} = n_e \cdot q_e \cdot S / a \cdot b = 10,66 \cdot 8,4 \cdot 8340,62 / 64 = 11.603,88 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} \langle \rangle \underline{\underline{11,60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \langle \rangle 3,22 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

Con lo cual, el número de sectores necesarios será de **3 sectores de riego**

7.1.2- NECESIDADES DE AGUA PARA OLIVOS JÓVENES EN FORMACIÓN DE 10 AÑOS DE EDAD

Se realizan los cálculos con las características especiales de estos olivos:

Datos de partida:

- Cultivo : Olivo joven de 10 años de edad
- Marco de plantación: 7 x 9 m
- Diámetro aéreo estimado: $D_a=4m$
- Conductividad del agua de riego: $CE_w = 0,51 \text{ dS.m}^{-1}$
- Textura del suelo: franca
- Caudal disponible en hidrante que abastece la finca: $10 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Presión disponible en el hidrante: 5,7 bar
- Superficie total regable de olivo joven: 1.539 m^2

Cálculo ETo Para olivos jóvenes de 10 años

Calculamos el valor de ET_o :

Para el cálculo de la ET_o se utiliza la *expresión de Hargreaves*:

$$ET_o = 0,23 \cdot Ra \cdot (T_m + 17,8) \cdot (T_{mx} - T_{min})^{1/2}$$

Resumen por meses del cálculo ETo para olivos jóvenes de 10 años

Será el mismo que para los olivos adultos:

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Radiación	7,58	10,00	14,33	17,45	21,79	24,04	23,92	20,49	15,85	11,61	7,90	6,68
Tª media (°C)	8,99	9,50	11,82	14,65	18,25	22,77	25,19	25,11	21,60	17,54	12,28	8,88
TªMax (°C)	15,25	15,47	18,53	21,37	25,61	30,03	32,77	32,44	28,76	24,38	18,31	15,20
TªMin (°C)	3,45	3,88	5,72	8,43	11,29	15,88	18,20	18,75	15,68	11,83	7,16	3,49
($T_m + 17,80$)	26,79	27,30	29,62	32,45	36,05	40,57	42,99	42,91	39,40	35,34	30,08	26,68
($T_{mx} - T_{min}$) ^{1/2}	3,44	3,40	3,58	3,60	3,78	3,76	3,82	3,70	3,62	3,54	3,34	3,42
ETo (mm/día)	1,60	2,14	3,49	4,68	6,84	8,44	9,03	7,48	5,20	3,34	1,82	1,40
ETo (mm/mes)							279,85					

Por tanto, el mes con mayores necesidades hídricas también es el mes de julio.

1.- Cálculo de necesidades netas de riego para el periodo de máximas necesidades:

Para su cálculo, se considera la fórmula,

$$NRn \text{ (mm/mes)} = ETo \text{ (julio)} \cdot K_c \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 - P_e$$

donde,

- K_c , es la constante correctora del cultivo. Para el mes de julio, se estima un valor de $K_c = 0,55$
- K_1 , es el factor corrector por localización.

Para el cálculo del valor de K_1 , se calcula previamente el área de sombreado de la planta,

$$A = \pi \cdot D_a^2 / 4 \cdot a \cdot b = \pi \cdot 4^2 / 4 \cdot 7 \cdot 9 = 0,20 \text{ m}^2$$

siendo,

D_a , es el diámetro aéreo de la planta, en m

a , es la distancia entre plantas dentro de una misma fila de árboles, en m

b , es la distancia entre filas de árboles, en m

Se calcula K_1 por el método clásico según las fórmulas de:

$$\text{ALJIBURY: } K_1 = 1,34 \cdot A = 1,34 \cdot 0,2 = 0,27$$

$$\text{DECROIX: } K_1 = 0,1 + A = 0,1 + 0,2 = \underline{0,30}$$

$$\text{HOARE ET AL.: } K_1 = A + 0,5 (1 - A) = 0,2 + 0,5 (1 - 0,2) = 0,6$$

$$\text{KELLER: } K_1 = A + 0,15 (1 - A) = 0,2 + 0,15 (1 - 0,2) = \underline{0,32}$$

Se desecha los dos valores extremos, y sacamos la media de los dos restantes,

El valor será, $K_1 = 0,31$

- K_2 , corrección por variación climática, provocado por la variación climática de un año a otro. Tomamos como valor para $K_2 = 1,2$. Supone un incremento de un 20% las necesidades estimadas.
- K_3 , corrección por advección, provocado por el microclima de la zona, depende del terreno que rodea a la finca. Su cálculo se establece mediante una gráfica. Para árboles, y para el tamaño de la finca, aprox. 1 ha, consideramos el valor de $K_3 = 1$, por lo que no influye en el cálculo de necesidades.
- P_e , la precipitación efectiva la calculamos a partir de los datos medios de precipitación mensual, aplicando la fórmulas siguientes,

$$\text{Si: } P < 75 \text{ mm/mes: } P_e = 0,60 \cdot P - 10 =$$

$$\text{Si: } P > 75 \text{ mm/mes: } P_e = 0,80 \cdot P - 25 =$$

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Precipitación (mm/mes)	105,44	42,86	77,82	51,43	39,66	18,89	6,29	9,13	88,06	94,98	83,90	36,48
P efectiva (mm/mes)	59,35	15,72	37,26	20,86	13,80	1,33	-6,23	-4,52	45,45	50,98	42,12	11,89

La precipitación efectiva en el mes de julio resulta un valor negativo.

Con todos los datos obtenidos, se calcula las necesidades de riego netas para el mes de mayor demanda:

$$NR_n = E_{To}(\text{julio}) \cdot K_c \cdot K_1 \cdot K_2 - P_e = 279,85 \cdot 0,55 \cdot 0,31 \cdot 1,2 - (-6,23) = \underline{\underline{63,49 \text{ mm/mes}}}$$

2.- Cálculo de necesidades totales de riego para el periodo de máximas necesidades:

Las necesidades totales de riego, se obtiene mediante la fórmula elegida para los olivos adultos, ya que no cambian los datos de conductividad del agua de riego.

$$NT_r = NR_n / UE \cdot EA =$$

De la misma manera, se toman los mismos valores para UE, y para EA que en los olivos adultos, por tanto:

- **UE**, es el factor corrector por la uniformidad en la emisión. Se admite un valor de **UE = 0,95**, y
- **EA = 0,95**

Por tanto, de la fórmula anterior, con los datos mencionados, se obtiene que,

$$NT_r = NR_n / UE \cdot EA = 63,49 / 0,95 \cdot 0,95 = 70,35 \text{ mm/mes}$$

Por tanto, las necesidades de riego para los olivos de 10 años, serán, para el mes de mayor demanda (julio):

En el mes,

$$NT_r = \underline{\underline{70,35 \text{ mm/mes}}}$$

Por día,

$$NT_r = \underline{\underline{2,27 \text{ mm/día}}}$$

Por árbol, y día

$$NT_r = \underline{\underline{142,96 \text{ l/árbol/día}}}$$

3.- Selección del emisor. Caudal nominal:

Se considera el mismo emisor elegido para los olivos adultos: un emisor de $q = 8,4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$

Área mojada, será la misma: $A_m = 2,071 \text{ m}^2$

El diámetro mojado, será el mismo: $D_m = 1,624 \text{ m}$

El porcentaje (P) de suelo mojado para cultivos leñosos se recomienda que sea el 33% del total de la superficie regable.

Con un marco de plantación de $7 \times 9 \text{ m}$, es decir 63 m^2 por planta, para mojar el 33% de esta superficie, es decir, se necesitará mojar un total de :

Superficie a mojar por árbol: $63 \text{ m}^2 \times 33/100 = 20,79 \text{ m}^2$

Para poder mojar esta superficie, se calcula el nº de goteros o emisores necesarios:

$n_e = a \cdot b \cdot P / 100 \cdot A_m = 7 \cdot 9 \cdot 33 / 100 \cdot 2,071 = 10,04$ emisores por planta.

donde,

$a \cdot b$, son las dimensiones del marco de plantación, distancia entre plantas en una misma fila, y b distancia entre filas de plantas.

P , es el porcentaje de tierra a mojar.

El nº de emisores necesarios por m^2 (N_e), será igual que lo calculado para olivos adultos:

$N_e \geq 1/A_m \times (P/100)$

$N_e \geq (1/2,071) \times (33/100) = 0,1593$ emisores por m^2 , o lo que es lo mismo 1 emisor cada $6,28 \text{ m}^2$.

Es decir, para un marco de plantación de $7 \times 9 \text{ m}$, habrá que instalar 10,03 emisores por planta, ó 5 emisores por línea aprox., de un caudal de $8,4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$

Cada línea de árboles, dispondrá de dos líneas de tuberías laterales con emisores.

Para calcular la separación entre emisores dentro de una misma línea:

$Sl \times Se = 1/n_e$, donde Sl es la separación entre filas de árboles

$Se = (1/n_e) / Sl$

Considerando que hay 2 líneas por árbol, $Se = (1/0,1593) / 4 = 1,57 \text{ m}$ de distancia entre emisores de una misma línea.

La separación entre emisores debe considerar un solape del área mojada entre el 10-20 %. Para el diseño que se requiere, se considera un solape entre el área mojada por los emisores de un 15 %:

$a\% = S \times 100 / r$, de donde el solape,

$S = (a/100) \times r = (15/100) \times 0,812 = 0,12$ m de distancia de solape.

Y la separación entre emisores, considerando este solape será,

$Se = Dm/2 \times (2 - 15/100) = 1,624/2 \times (1,85) = 1,5022$ m

Consideramos una separación entre emisores dentro de una misma línea de 1,50 m.

A efectos de dimensionamiento hidráulico, el campo con olivos jóvenes de 10 años se considerará como si ya fuesen olivos adultos, ya que en breves años las necesidades de estos también serán las de olivos adultos.

4.- Cálculo del tiempo de riego e intervalo máximo:

La dosis de agua para el mes de mayor requerimiento hídrico, será:

$$D_r = n_{e-\text{árbol}} \cdot q_e \cdot T =$$

Donde,

$n_{e-\text{árbol}}$, número de emisores por árbol

q_e , caudal (l/h) de los emisores, y

T es el nº de horas de riego

Dado que el riego localizado se caracteriza por ser un riego de alta frecuencia, consideramos en intervalo de riego, I, diario.

I = 1 día

La dosis de riego, $D_r = N T_{r-\text{árbol}} \cdot I =$

Igualando ambas expresiones para el cálculo de la dosis de riego, y despejando T, tendremos que, el tiempo de riego será:

$$T = N T_{r-\text{árbol}} \cdot I / n_{e-\text{árbol}} \cdot q_e = 142,96 \cdot 1 / 9,33 \cdot 8,4 = 1,82 \text{ horas} \langle \rangle 1 \text{ horas y } 49 \text{ min} \sim \underline{\underline{1\text{h y } 50 \text{ min}}}$$

5.- Cálculo del caudal requerido por unidad de superficie:

Calculamos el caudal requerido para el riego de esta parcela de olivos jóvenes:

$$Q_{\text{requerido}} = n_e \cdot q_e \cdot S / a \cdot b = 9,33 \cdot 8,4 \cdot 1539 / 63 = 1.908,39 \text{ L/h} <> \underline{\underline{1,91 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} <> 0,53 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

7.1.3- RESERVAS DE AGUA EN EL SUELO

El cálculo de reserva de agua en suelo se obtiene como la diferencia entre la capacidad de campo CC, y el nivel PM o punto de marchitez irreversible del cultivo.

El agua disponible para el cultivo, o agua útil, la calculamos mediante las siguientes fórmulas,

$$AU = CC - PM$$

siendo el volumen de humedad $h = \Theta_v (\%) \times p$

donde p es la profundidad del sistema radical expresada en mm.

Aunque se sabe que el olivo puede extraer agua hasta una profundidad considerable, a efectos de cálculo, se considera oportuno por seguridad en el cálculo, limitar esta profundidad a 1m. La finca estudiada es de suelos profundos en la totalidad de su extensión.

Por otro lado, para un suelo con textura franca como el de la finca objeto del estudio, consideramos los siguientes valores para el CC y el PM.

$$CC = 31 \% (v/v)$$

$$PM = 14 \% (v/v)$$

Considerando la naturaleza perenne del olivo, el buen desarrollo de su sistema radical, y su ETC relativamente baja, puede aceptarse que se podría agotar hasta un 75% del agua disponible en el suelo sin que su producción se viera afectada (Barranco et al., 2001), por tanto, para el cálculo del agua disponible en el suelo adoptamos como fracción de agotamiento del agua en el suelo el valor de 0,75, de donde la fórmula anterior queda como,

$$h = 0,75 \times (CC - PM) \times p$$

$$h = 0,75 \times (0,31 - 0,14) \times 1000 = \underline{\underline{127,50 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}}}$$

7.1.4- PLANIFICACIÓN ANUAL DEL RIEGO. PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Una vez conocidas las necesidades totales de agua del cultivo en el mes de mayor demanda, se procede a realizar los mismos cálculos para cada uno de los meses del año.

En los siguientes cuadros resumen se muestran las necesidades totales de riego en cada mes del año para los olivos aultos, y para los olivos de 10 años de edad.

Cuadro resumen de riego para los olivos adultos:

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Radiación (Est.Bolbaite)	7,58	10,00	14,33	17,45	21,79	24,04	23,92	20,49	15,85	11,61	7,90	6,68
Tª media	8,99	9,50	11,82	14,65	18,25	22,77	25,19	25,11	21,60	17,54	12,28	8,88
TªMax	15,25	15,47	18,53	21,37	25,61	30,03	32,77	32,44	28,76	24,38	18,31	15,20
TªMin	3,45	3,88	5,72	8,43	11,29	15,88	18,20	18,75	15,68	11,83	7,16	3,49
(Tm+ 17,80)	26,79	27,30	29,62	32,45	36,05	40,57	42,99	42,91	39,40	35,34	30,08	26,68
(Tmx-Tmin) ^{1/2}	3,44	3,40	3,58	3,60	3,78	3,76	3,82	3,70	3,62	3,54	3,34	3,42
ETo (mm/día)	1,60	2,14	3,49	4,68	6,84	8,44	9,03	7,48	5,20	3,34	1,82	1,40
ETo (mm/mes)	49,73	59,85	108,32	140,54	211,93	253,10	279,85	232,02	155,87	103,64	54,73	43,47
Kc-olivo	0,6	0,6	0,6	0,65	0,65	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65	0,65	0,6
K ₁ -olivo (K _r)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
K ₂ -Corrección por var.c.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
P _e	59,352	15,716	37,256	20,858	13,796	1,334	-6,23	-4,522	45,448	50,984	42,12	11,888
NR_n (mm/mes)	-32,50	16,60	21,24	61,36	110,19	123,95	144,76	119,37	31,71	9,65	-10,10	11,58
UE	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
LR	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
EA	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
NR_r (mm/mes)	-36,01	18,40	23,53	67,99	122,09	137,34	160,40	132,27	35,13	10,69	-11,19	12,84
NR_r (mm/día)	-1,16	0,66	0,76	2,27	3,94	4,58	5,17	4,27	1,17	0,34	-0,37	0,41
NR_r (l/árbol/día)	-74,34	42,05	48,58	145,03	252,05	292,99	331,15	273,07	74,95	22,07	-23,88	26,50
Horas de riego/día (h)	0	0	0	1,6	2,8	3,3	3,7	3,0	0,8	0	0	0
Tiempo de riego (h-min)	0	0	0	1h y 36'	2h y 48'	3h y 18'	3h y 42'	3h	48'	0	0	0

En los meses de febrero, marzo, y octubre, no se regará. Las necesidades hídricas se extraerán de las reservas de agua en el suelo, estimadas en 127,50 mm/año.

En los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, y septiembre, se regará todos los días con el tiempo calculado en el cuadro superior.

El volumen de agua necesario anualmente será:

$$V_t = (67,99 + 122,09 + 137,34 + 160,40 + 132,27 + 35,13) \cdot S \text{ (m}^2\text{)} = 655,22 \text{ mm/a}^{-1} \cdot 8.340,62 \text{ m}^2 =$$

$$\mathbf{V_t = 5.464,94 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}}$$

Cuadro resumen de riego para los olivos de 10 años:

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Radiación (40º N)	7,58	10,00	14,33	17,45	21,79	24,04	23,92	20,49	15,85	11,61	7,90	6,68
Tª media	8,99	9,50	11,82	14,65	18,25	22,77	25,19	25,11	21,60	17,54	12,28	8,88
TªMax	15,25	15,47	18,53	21,37	25,61	30,03	32,77	32,44	28,76	24,38	18,31	15,20
TªMin	3,45	3,88	5,72	8,43	11,29	15,88	18,20	18,75	15,68	11,83	7,16	3,49
(Tm+ 17,80)	26,79	27,30	29,62	32,45	36,05	40,57	42,99	42,91	39,40	35,34	30,08	26,68
(Tmx-Tmin) ^{1/2}	3,44	3,40	3,58	3,60	3,78	3,76	3,82	3,70	3,62	3,54	3,34	3,42
ETo (mm/día)	1,60	2,14	3,49	4,68	6,84	8,44	9,03	7,48	5,20	3,34	1,82	1,40
ETo (mm/mes)	49,73	59,85	108,32	140,54	211,93	253,10	279,85	232,02	155,87	103,64	54,73	43,47
Kc-olivo	0,6	0,6	0,6	0,65	0,65	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65	0,65	0,6
K ₁ -olivo (K _r)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
K ₂ -Corrección por var.c.	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
P _e	59,35	15,72	37,26	20,86	13,80	1,33	-6,23	-4,52	45,45	50,98	42,12	11,89
NR_n (mm/mes)	-48,25	-2,36	-13,08	13,12	37,45	50,45	63,49	51,99	-13,56	-25,92	-28,89	-2,19
UE	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
LR	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
EA	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
NR_r (mm/mes)	-53,46	-2,61	-14,49	14,54	41,50	55,90	70,35	57,61	-15,02	-28,72	-32,01	-2,42
NR_r (mm/día)	-1,72	-0,09	-0,47	0,48	1,34	1,86	2,27	1,86	-0,48	-0,93	-1,03	-0,08
NR_r (l/árbol/día)	108,65	-5,88	-29,45	30,54	84,33	117,39	142,98	117,08	-30,53	-58,37	-65,05	-4,92
Horas de riego/día (h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	1,82	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00
Tiempo de riego (h-min)						1h y 30'	1h y 49'	1h y 29'				

En los meses de abril y mayo, no se regará. Las necesidades hídricas se extraerán de las reservas de agua en el suelo, estimadas en 127,50 mm/año.

En los meses de junio, julio, agosto, se regará todos los días con el tiempo calculado en el cuadro superior.

El tiempo de riego se irá revisando a medida que estos olivos vayan creciendo, hasta alcanzar el tamaño de los olivos adultos existentes en la finca.

El volumen de agua necesario anualmente será

$$V_t = (55,90 + 70,35 + 57,61) \cdot S (\text{m}^2) = 183,86 \text{ mm/año} \cdot 1539 \text{ m}^2 = \mathbf{282,96 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}}$$

Y el volumen total de agua necesaria anualmente en la totalidad de la finca será:

$$V_T = 5.464,94 + 282,96 = \mathbf{5.747,90 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}}$$

7.2- NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN

Se realiza el cálculo de necesidades de abonado para los principales nutrientes, N, P, y K. teniendo en cuenta las necesidades anuales por árbol en la explotación, considerando el olivo como el cultivo principal de la finca, y objeto de este estudio. Por ello, a efectos de cálculo de necesidades de nutrientes, se considera a todos los árboles de la finca como olivos adultos de las mismas características, sin tener en cuenta, a efectos de cálculo, necesidades de abonado particulares de otros cultivos existentes en la finca con presencia muy minoritaria y tan solo testimonial.

Necesidades de nitrógeno (N):

Se considera unas necesidades anuales de N = 400 g/árbol /año

Necesidades anuales de N : 155 árboles x 400 g/árbol/año = 62.000 g.a⁻¹ = 62 kg.a⁻¹

Volumen de agua de riego anual = 5.747,90 m³. a⁻¹

En NO⁻³ = 22,5% de N

NO⁻³ en agua de riego = 4 mg.l⁻¹ = 0,004 g. L⁻¹

Aporte anual de N en el agua de riego : 5.747.900 L. a⁻¹ x 0,004 g.L⁻¹ x 0,225 = 5.173,11 g = 5,17 kg de N en agua de riego.

Necesidades de N vía fertilizante: 62 kg.a⁻¹ – 5,17 kg. a⁻¹ = 56,83 kg de N . a⁻¹

Si se abona con sulfato amónico con una concentración de 21%:

56,83 Kg x 0,21⁻¹ = 270,61 Kg de sulfato amónico al año

Es un abono de reacción ácida, lo cuál al disolverlo en el agua de riego baja el pH de la misma, y esto repercute en favorablemente en la asimilación de los nutrientes por las plantas. Además, también produce un efecto desincrustante en la instalación.

Necesidades de fósforo (P):

Se considera unas necesidades anuales de P = 100 g/árbol /año

Necesidades anuales de P: 155 árboles x 100g/árbol/año = 15.500 g.a⁻¹ = 15,5 kg.a⁻¹

Aporte de P en el agua de riego : por su concentración menor de 0,1 mg.L⁻¹ se desestima

Necesidades de P₂O₅ vía fertilizante: 15,5 kg.a⁻¹ x 2,29 = 35,50 kg.a⁻¹ de P₂O₅

Si abonamos con ácido fosfórico con una concentración de 40 % de P₂O₅:

35,50 kg.a⁻¹ x 0,40⁻¹ = 88,75 Kg de ácido fosfórico al año

Necesidades de potasio (K):

Se considera unas necesidades anuales de K = 500 g/árbol /año

Necesidades anuales de K: 155 árboles x 500 g/árbol/año = 77.500 g.a⁻¹ = 77,5 kg.a⁻¹

Volumen de agua de riego anual: 5.747,90 m³. a⁻¹

K en agua de riego = 0,7 mg.L⁻¹ = 0,0007g.L⁻¹

Aporte de K en el agua de riego : 5.747.900 L. a⁻¹ x 0,0007g.L⁻¹ = 4.023,53 g a⁻¹ = 4,02 kg de k en agua de riego por año.

Necesidades de K vía fertilizante: 77,5 kg.a⁻¹ – 4,02 kg. a⁻¹ = 73,48 kg de K . a⁻¹.

Necesidades de K₂O vía fertilizante: 73,48 kg.a⁻¹ x 1,20 = 88,18 kg.a⁻¹ de K₂O

Si abonamos con Sulfato potásico (SO₄K₂) con una concentración de 50% de K₂O :

88,18 Kg x 0,50⁻¹ = 176,36 Kg de sulfato potásico al año.

8- DISEÑO HIDRÁULICO

Para cubrir la necesidades agronómicas de agua calculadas en el olivar existente en la finca objeto del proyecto, se realiza un diseño hidráulico con la red de conducciones de distribución y de emisores para llevar el agua necesaria a cada una de las plantas de finca.

La finca se compone de 4 parcelas abancaladas. Para el diseño hidráulico de la finca consideramos cada una de estas parcelas como una subunidad de riego.

La finca dispone de un caudal total de agua a la salida del hidrante de 10 m³.h⁻¹. Teniendo en cuenta que las necesidades de suministro de agua al inicio de cada subunidad supera este caudal disponible de agua, se opta por sectorizar el regadío. Como además, en la finca existen tres parcelas de olivo adulto y una parcela con olivos jóvenes en formación de 10 años de edad, con necesidades hídricas diferentes al resto, se opta por diseñar las instalaciones con tres sectores de riego.

La red de distribución de agua en la finca se organiza pues en 3 sectores. Un sector distribuirá el agua a las parcelas 1 y 2 de mayor cota. Un segundo sector alimentará la parcelas nº-3, y un tercer sector suministrará el agua a la cuarta parcela.

El cabezal de riego se sitúa en el bancale nº 3, como puede verse en el plano nº-5- “Plano de Planta-Red de distribución de agua”.

8.1- SUBUNIDADES DE RIEGO

Como se ha dicho, se han considerado 4 subunidades de riego coincidiendo cada una de ellas con cada uno de los 4 bancales o subparcelas que conforman la finca.

Los cálculos hidráulicos de cada subunidad de riego se realizan mediante la aplicación informática KS-2004 diseñada y desarrollada en Excel por la E.U.I.T.A. de U.P.V, para el cálculo de subunidades de riego.

Los resultados obtenidos para cada una de las subunidades de riego se encuentran en el documento de anexos a la Memoria, anexo- 6.1- "Cálculo de diseño hidráulico-Subunidades de riego".

Las 4 subunidades de riego se nombran comenzando por la parcela de mayor cota, subunidad de riego-1, que corresponde con la parcela catastral 170 del pol.10, separada del resto de la finca por la carretera CV-590 Ayora-Gandía. Los otros tres bancales de la finca, integrados en la parcela catastral 750 del pol. 11, se nombran como subunidades de riego-2, que corresponde al bancal pegado al lado derecho de la ctra. CV-590, en sentido Enguera-Ayora, y de mayor cota que los dos siguientes; subunidad de riego 3, que corresponde al bancal de mayor tamaño de la finca; y subunidad de riego 4, que corresponde con la parcela de menor cota de la finca y donde se encuentran los olivos jóvenes de la finca, de 10 años de edad.

Las subunidades de riego incluyen las tuberías laterales o portaemisores, y las tuberías terciarias que alimentan a las anteriores.

Todas estas tuberías son de PE de 0,4 MPa. Los diámetros y características de las mismas se explican a continuación.

En las 4 subunidades de riego se considera que las tuberías laterales se alimentan por un extremo.

En todas las subunidades de riego se considera el mismo tipo de emisores en las tuberías laterales, emisores autocompensante, pinchados, de caudal $8,4 \text{ L.h}^{-1}$.

Para el cálculo de las pendientes de las tuberías laterales y terciarias se toman datos de cotas con un Nivel Topcon modelo Pentax AP-128, con última fecha de calibrado y verificación el 16/10/2014.

Las características topográficas de la finca pueden verse en los planos N^o-2-"Plano Topográfico e= 1:1.000", y en el plano n^o-4-"Plano de Planta de la Finca".

8.1.1- SUBUNIDAD DE RIEGO-1

Para la realización de los cálculos y dimensionamiento de esta subunidad de riego-1 partimos de los siguientes datos:

Superficie parcela = 1.476,62 m²

Superficie regable = 1.476,62 m²

Marco de plantación: 8 x 8 m

N^o de árboles = 25

Cultivo: olivo adulto

Nº de filas de plantas: 3

Se diseña la distribución de agua considerando tres filas de plantas, por lo que se diseña la instalación de 6 tuberías laterales de geometría irregular, alimentadas por un extremo.

De los cálculos hidráulicos obtenidos con la aplicación informática KS2004 se obtiene que,

La tubería terciaria será de PE-de diámetro nominal DN-25mm y Di-21mm de PN-0,4MPa, con un total 65,85m de esta tubería.

Las tuberías laterales serán de PE de DN-16mm y Di-13,40mm, con emisores cada 1,5m.

De los cálculos resultantes se obtiene que en esta subunidad-1 se instalarán 405 ml de tubería lateral con un total de 270 emisores.

De todo ello se deduce que el caudal necesario al inicio de la tubería terciaria para alimentación de la subunidad-1 será:

Nº de emisores totales en la subunidad-1 = 270 emisores

Q necesario al inicio de la terciaria = 270 emisores x 8,4 L.h⁻¹ = 2.268 L.h⁻¹ <> 0,63 L.s⁻¹

8.1.2- SUBUNIDAD DE RIEGO-2

Para la realización de los cálculos y dimensionamiento de esta subunidad de riego-2 partimos de los siguientes datos:

Superficie parcela = 3.025 m²

Superficie regable = 2.937 m²

Marco de plantación: 8 x m8

Nº de árboles = 45

Cultivo: olivo adulto. Existen 35 olivos adultos, 4 algarrobos de grandes dimensiones, y 6 almendros. A efectos de cálculos hidráulicos, tanto los algarrobos como los almendros se consideran como olivos adultos.

Nº de filas de plantas: 6

Se diseña la distribución de agua considerando 6 filas de plantas, por lo que se diseña la instalación de 12 tuberías laterales de geometría irregular alimentadas por un extremo.

De los cálculos hidráulicos obtenidos con la aplicación informática KS2004 se obtiene que,

La tubería terciaria con una longitud total de 53,35 m, será de PE-de PN-0,4MPa y diámetro nominal DN-32mm y Di-28mm.

Las tuberías laterales serán de PE de DN-16mm y Di-13,40mm, con emisores cada 1,5m.

De los cálculos resultantes se obtiene que en esta subunidad-2 se instalarán un total de 752 ml de tubería lateral con un total de 500 emisores.

De todo ello se deduce que el caudal necesario al inicio de la tubería terciaria para alimentación de la subunidad-2 será:

Nº de emisores totales en la subunidad-2 = 500 emisores

Q necesario al inicio de la terciaria = 500 emisores x 8,4 L.h⁻¹ = 4.200 L.h⁻¹ <> 1,17 L.s⁻¹

8.1.3- SUBUNIDAD DE RIEGO-3

Para la realización de los cálculos y dimensionamiento de esta subunidad de riego-3 partimos de los siguientes datos:

Superficie parcela = 4.254 m²

Superficie regable = 3.928 m²

Marco de plantación: 8 x 8 m

Nº de árboles = 61

Cultivo: Olivo adulto

Nº de filas de plantas: 5

Se diseña la distribución de agua considerando 5 filas de plantas, por lo que se diseña la instalación de 10 tuberías laterales de geometría irregular alimentadas por un extremo.

De los cálculos hidráulicos obtenidos con la aplicación informática KS2004 se obtiene que,

La tubería terciaria será de PE-de PN-0,4MPa y de diámetro nominal DN-32mm y Di-28mm, con una longitud total de 38,50m.

Las tuberías laterales serán de PE de DN-16mm y Di-13,40mm, con emisores cada 1,5m.

En esta subunidad-3 se instalará un total de 976 ml de tubería lateral con un total de 650 emisores.

De todo ello se deduce que el caudal necesario al inicio de la tubería terciaria para alimentación de la subunidad-3 será:

Nº de emisores totales en la subunidad-3 = 500 emisores

Q necesario al inicio de la terciaria = 500 emisores x 8,4 L.h⁻¹ = 5.460 L.h⁻¹ <> 1,52 L.s⁻¹

8.1.4- SUBUNIDAD DE RIEGO-4

Para la realización de los cálculos y dimensionamiento de esta subunidad de riego-1 partimos de los siguientes datos:

Superficie parcela = 1.805,00 m²

Superficie regable = 1.539,00 m²

Marco de plantación: 7 x 9 m

Nº de árboles = 24

Cultivo: olivo de 10 años de edad

Nº de filas de plantas: 2

Como ya se ha dicho, la subparcela de olivos jóvenes en crecimiento, a efectos de dimensionamiento de la instalación hidráulica, se considera como si las plantas existentes ya fuesen árboles adultos, en previsión de un futuro próximo donde las plantas alcancen las dimensiones una planta adulta, y las necesidades agronómicas de agua sean similares al resto de las plantas de la finca.

Así pues, se diseña la distribución de agua considerando dos filas de plantas, por lo que se prevé la instalación de 4 tuberías laterales de geometría regular alimentadas por un extremo.

De los cálculos hidráulicos obtenidos con la aplicación informática KS2004 se obtiene que,

La tubería terciaria será de PE de PN-0,4MPa, de diámetro nominal DN-25mm y Di-21mm, con una longitud total de 15,50m.

Las tuberías laterales serán de PE de DN-16mm y Di-13,40mm, con emisores cada 1,50m.

De los cálculos resultantes se obtiene que en esta subunidad-4 se instalarán 336 m de tubería lateral con un total de 224 emisores.

De todo ello se deduce que el caudal necesario al inicio de la tubería terciaria para alimentación de la subunidad-4 será:

Nº de emisores totales en la subunidad-4 = 224 emisores

Q necesario al inicio de la terciaria = 224 emisores x 8,4 L.h⁻¹ = 1.882 L.h⁻¹ <> 0,53 L.s⁻¹

8.2-RED DE CONDUCCIONES Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Desde el cabezal de riego hasta el punto de alimentación de agua de cada una de las cuatro subunidades de riego previstas, el agua debe distribuirse de tal forma que llegue a cada uno de los puntos de consumo en las condiciones necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

Para ello, se diseña una red de conducciones donde se determina el trazado de la red, y los diámetros y características de las conducciones.

Para el cálculo y diseño de esta red de conducción y distribución se utiliza el “Método Clásico” o también llamado “Método de la pérdida de carga constante”.

Los cálculos hidráulicos se realizan mediante una hoja de cálculo configurada para el diseño de redes de distribución de agua. Los cálculos realizados y los resultados obtenidos y los detalles de las secciones y características de las conducciones previstas pueden consultarse en el Anexo-6.2- “Cálculo de red de distribución”, del documento de Anexos a la Memoria.

El cálculo se realiza ordenadamente tramo a tramo desde el nudo de cabeza hasta el nudo de cola de la red.

El caudal disponible de riego a la entrada de la finca es de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, es decir, $2,78 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, mientras que el caudal necesario para un riego simultáneo a la totalidad de la finca es de $13,86 \text{ m}^3 \cdot \text{hora}^{-1}$, es decir, $3,85 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, por lo que se descarta la posibilidad de regar toda la finca a la vez ya que las necesidades de caudal son mayores que el caudal disponible.

Así pues, la red de riego se diseña dividiendo la finca en 3 sectores, 1 de ellos con 2 subunidades de riego, y otros dos sectores con una sola subunidad de riego.

El primer sector, engloba la subunidad de riego-1 y subunidad de riego-2; el sector-2, comprende la subunidad de riego-3; y el sector-3 a la subunidad de riego-4.

Las características de cada sector establecido se detallan a continuación.

8.2.1-SECTOR DE RIEGO-1

El caudal de riego necesario para el riego del sector-1, será la suma de los caudales necesarios calculados previamente para las subunidades de riego 1 y 2.

Caudal necesario en el punto inicial de subunidad de riego-1 = $2.268 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \ll 0,63 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$

Caudal necesario en punto inicial de subunidad de riego-2 = $4.200 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \ll 1,17 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$

El sector-1, incluye el riego a las subunidades 1 y 2, con una superficie regable total de $4.412,62 \text{ m}^2$ y un Q necesario en la línea de suministro de este sector de $6.468 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \sim 1,80 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$.

Por tanto, el caudal necesario de riego para el sector-1 será de **$6.468 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \ll 1,80 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$**

8.2.2-SECTOR DE RIEGO-2

El sector-2, comprende la subparcela de mayor tamaño de la finca y la de mayor nº de árboles.

Se corresponde con la subunidad de riego-3, con una superficie regable de 3.928 m^2 y un Q necesario al inicio de la terciaria de la subunidad de $5.460 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \ll 1,52 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$

Por tanto, el caudal necesario de riego para el sector-2 será de **$5.460 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \ll 1,52 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$**

8.2.3-SECTOR DE RIEGO-3

El sector-3 de riego corresponde con la subunidad de riego-4 que es la subparcela con olivos jóvenes de 10 años de edad. Aunque por volumen y caudales se podía haber incluido junto con la subunidad de riego-3, se ha considerado oportuno separarla de dicha subunidad-3 por motivos agronómicos, ya que las necesidades de agua en la actualidad no son las mismas que las de un olivo adulto.

No obstante, a efectos de cálculos hidráulicos, y como ya se ha indicado anteriormente, el dimensionamiento de las conducciones se ha considerado como si de olivos adultos se tratase.

La superficie regable de dicha subunidad es de 1.539 m², y el caudal necesario al inicio de la terciaria es de 1.882 L.h⁻¹ <> 0,53 L.s⁻¹

Así pues, el caudal necesario de riego para el sector-3 será de 1.882 L.h⁻¹ <> 0,53 L.s⁻¹

8.3-CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego, como su nombre indica, es el conjunto de elementos situados en la cabecera de la instalación de riego, que tiene por objeto el tratamiento de filtrado previo del agua que entra en la instalación, así como el control de la programación del riego y de la fertirrigación en la instalación.

Para ello, el cabezal estará dotado de equipos de filtrado, de tanque o depósito de abonado, de equipo de inyección de fertilizantes en la red de distribución, de equipos de control de presión, programador, electroválvulas que permitan la automatización de los riegos y el abonado, valvulería manual para operaciones de mantenimiento, averías, o también de control manual de presión, de ventosas para la expulsión o la incorporación de aire en el interior de las conducciones, y el conjunto de piezas especiales como codos, piezas en T, racores, collarines, etc, que permitan la conexión de dichos elementos en las conducciones de suministro.

Para la instalación de este conjunto de elementos en la finca objeto de este proyecto, se prevé la instalación de una caseta de hormigón prefabricado de dimensiones exteriores 2,5 x 2 x 2,40 m, diseñada y fabricada para este fin. Las dimensiones y características de la misma pueden verse en el plano nº-9-“Plano de caseta cabezal de riego”.

La finca no dispone de suministro eléctrico, por lo que todos los equipos que necesiten de energía eléctrica, como el programador de riego o las electroválvulas, dispondrán de baterías autónomas para su funcionamiento.

ELEMENTOS QUE COMPONEN EL CABEZAL DE RIEGO

El agua de riego llegará al cabezal a través de una tubería de PE-0,6 MPa de DN-63 mm. Esta tubería une el hidrante comunitario con el cabezal de riego particular de la finca.

En el cabezal de riego, la tubería que conecta los diferentes elementos que componen el cabezal será de PVC-1,0 MPa de DN-63 mm.

La disposición y diseño de estos elementos que componen el cabezal de riego pueden consultarse en el Plano-10-“Plano de detalle del cabezal de riego”.

Los elementos que componen el cabezal de riego se describen a continuación:

FILTROS DE MALLA

El agua utilizada para riegos localizados debe filtrarse a la entrada del cabezal de riego para garantizar que no se introduzcan en la red de riego elementos extraños que pudieran obturar los emisores de la instalación.

El agua disponible para el riego de la finca objeto de este proyecto procede, como ya se ha dicho, del pozo Murre-I, propiedad de la Cooperativa de Riegos de Enguera.

Este agua, de procedencia subterránea, es bombeada hasta un depósito de regulación y almacenaje, para posteriormente distribuirla por gravedad y por conducciones cerradas, hasta los hidrantes comunitarios, y de allí, a los cabezales de riego de cada finca.

Así pues, el agua a utilizar en las instalaciones de riego localizado de esta finca, será, por su procedencia subterránea, de buena calidad en cuanto a impurezas se refiere, ya que estas impurezas serán partículas minerales, pero no materia orgánica, ya que no se trata de un agua de procedencia superficial.

Por las características mencionadas del agua a utilizar, donde sólo se espera que existan partículas inorgánicas, y por las características de la finca, de superficie pequeña, se considera suficiente, la instalación de un filtro de malla en la entrada de agua al cabezal de riego. No se considera necesario, pues, la instalación de filtro de arena.

El tipo de filtro de malla a instalar consta de una carcasa de plástico que alberga en su interior un elemento filtrante. Este elemento filtrante esta compuesto a su vez, de una estructura-soporte sobre el cuál se apoya una malla filtrante.

Esta malla filtrante viene definida por el número MESH, o nº de orificios por pulgada lineal.

El filtro elegido debe retener todas las partículas de un diámetro mayor a 1/8 del diámetro del paso mínimo del emisor.

El nº de MESH lo define el emisor. Para el modelo y tipo de emisor elegido, el nº de MESH es 120 (equivalente a 130 micras), como puede verse en el anexo-5-“ de la Memoria, en las características del emisor.

Así pues, el filtro a instalar, cumplirá este requisito en la luz de la malla de filtrado.

En cuanto al área neta de filtrado (o área vacía), será tal que su colmatación no sea rápida, y que sus pérdidas de carga tras un lavado no sean grandes.

Para cumplir lo primero, el área vacía debe ser al menos 2,5 veces el área correspondiente al diámetro nominal del filtro. Además la velocidad de filtrado deberá estar comprendida entre 0,4 y 0,9 m/s. Recomendable 0,6 m/s.

En cuanto a lo segundo, se aceptará que con la malla de filtrado limpia, las pérdidas de carga no superarán los 2 m.c.a. Con pérdidas de carga superiores a 5m.c.a la malla estará para limpiar.

Si consideramos una velocidad media de filtrado 0,6m/s, para un requerimiento de caudal de 1,8 l.s⁻¹ <> 6,48m³h⁻¹ , la superficie de área vacía que deberá tener el filtro será:

$$\text{Área vacía} = 6,48\text{m}^3\text{h}^{-1} / (3600 \text{ s.h}^{-1} \times 0,6 \text{ m.s}^{-1}) = 0,003 \text{ m}^2 \text{ <> } 30 \text{ cm}^2$$

$$\text{Y el área total del filtro, } A_t = A_v / 0,4 = 30 / 0,4 = 75 \text{ cm}^2$$

El área efectiva o área vacía, deberá ser 2,5 veces el área el diámetro nominal del filtro:

$30 / 2,5 = 12 \text{ cm}^2$ de sección

Por tanto, el diámetro nominal del filtro será,

$D = ((4 \times 12) / (\pi))^{1/2} = 3,91 \text{ cm} <> 1,54''$, por lo que elegiremos un filtro de tamaño comercial de 2" de diámetro nominal y una malla de 120 MESH

Por otro lado, además, en la tubería de inyección de abonado, desde el tanque de la disolución fertilizante a la red de distribución, también se colocará otro filtro de malla de menores dimensiones, de manera que se garantice la no intromisión de partículas desde el tanque de abonado, que pudiesen obturar los emisores.

MANÓMETROS

Para un correcto funcionamiento y mantenimiento de los filtros de malla instalados se colocarán aguas arriba y debajo de estos filtros un manómetro que nos permitan comprobar la presión en la instalación. Cuando la diferencia de presión entre ambos sea considerablemente diferente entre el manómetro situado aguas arriba y el de aguas abajo del filtro, entonces será el momento de limpiar el filtro.

BOMBA INYECTORA DE ABONADO

El sistema elegido para incorporar el abonado a la red de distribución es el de una bomba de inyección. Como la finca no dispone de suministro eléctrico, la inyección del abonado a la red de distribución se hará mediante la instalación de una bomba de accionamiento hidráulico. Estas bombas disponen de una cámara que se llena y vacía alternativamente accionada por la presión de la red. No necesita más fuente de energía que la propia presión de la red.

La solución fertilizante se inyecta en la red de riego mediante impulsos cuya frecuencia puede regularse. El volumen introducido en cada impulso es constante y depende del modelo de inyector.

El caudal inyectado dependerá del nº de impulsos por hora y del volumen inyectado en cada impulso:

$$Q_i = V_i \cdot N_i$$

Los caudales de este tipo de bomba pueden variar entre 20-300 l/h.

DEPÓSITO DE FERTILIZACIÓN

Con el riego localizado tenemos la posibilidad realizar la aportación de nutrientes a las plantas mediante la automatización del abonado. Aprovechamos la operación cultural del riego para realizar una segunda operación de forma simultánea. Realizamos dos labores de una sola vez. Es lo que denominamos fertirrigación.

Los elementos del cabezal para llevar a cabo esta fertirrigación serán principalmente el depósito de abonado para realizar la disolución del fertilizante, y la bomba inyectora de la disolución fertilizante en la red de riego, además claro, del programador y las electroválvulas para automatizar la aplicación del mismo.

El depósito será de un material plástico con una tubería de llenado de agua por la parte superior, y una tubería conectada a la bomba inyectora por la parte inferior del depósito.

A la salida del depósito de la disolución fertilizante se instalará un filtro de malla e dimensiones y tamaño acorde al caudal de disolución a inyectar en la red.

PROGRAMADOR

Es el elemento clave en la automatización y programación del calendario de riegos. El programador elegido para para la instalación deberá disponer de al menos capacidad para programar 3 sectores de riego y 3 programas de abonado.

ELECTROVÁLVULAS

En el cabezal se instalarán una electroválvula por cada sector de riego y otra más para la automatización del abonado.

Es decir, se instalarán un total de 4 electroválvulas, dos para tubería de DN-40mm para los sectores 1 y 2, otra para tubería de DN-32mm para el tercer sector, y la 4ª para la activación y paro de la inyección del abonado, como hemos dicho.

VÁLVULAS MANUALES DE APERTURA Y CIERRE

Este elemento es esencial para cualquier operación e mantenimiento, averías, o control manual de la presión en la red. Las válvulas que se colocarán serán válvulas e bola acordes al diámetro de las tuberías donde se instalan. El nº de válvulas y su disposición pueden verse en el plano nº 10- Plano de detalle del cabezal de riego.

VÁLVULAS DE RETENCIÓN

Se ha previsto la instalación de válvulas de retención aguas debajo de la boma inyectora de fertilizantes a la red para garantizar que la disolución fertilizante no tenga retroceso en la conducción.

VENTOSAS

El cabezal de riego dispondrá de una o varias ventosas que aseguren la purga de aire en las conducciones, o la entrada el mismo en caso de depresiones indeseadas.

PIEZAS ESPECIALES: COLLARINES, T, RACORES, REDUCCIONES, ETC.

Además de los elementos ya descritos, el cabezal de riego se compone de otras piezas que se utilizan como nexos de unión entre diferentes elementos, o simplemente para conexionar los elementos a la red. Así por ejemplo,

CONTADOR

El contador de consumo de agua en la instalación, no se encuentra físicamente en la caseta del cabezal de riego, sino que está ubicado en hidrante comunitario de los regantes de la zona.

Este contador es de 1,5" que permite el paso de hasta un caudal de 10 m³.h⁻¹.

Este contador, ya instalado, puede verse en la fotografía del hidrante en el anexo-7 Repotaje fotográfico.

TUBERÍA DE ACOMETIDA

La tubería de suministro de agua desde el hidrante hasta la caseta del cabezal de riego es una tubería de PE-1,0 MPa de DN-63 mm.

Esta tubería ya ha sido instalada por la Cooperativa de Riegos de Enguera en el tramo comprendido entre el hidrante comunitario hasta pie de finca, con una longitud estimada de tubería ya colocada de 185m aproximadamente desde la entrada a la finca hasta el lugar donde está prevista la ubicación de la caseta con el cabezal de riego se calcula que hay una distancia de 125m aproximadamente. Así pues, se estima que la longitud total de esta tubería será de 310 m.

El trazado desde el hidrante hasta el punto de entrada en la finca puede verse en el anexo-3- Cabezal de riego y acometida.

9. VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio calculado del coste de la instalación de riego localizado en la finca objeto de este proyecto es de **6.196, 85 € de E.M.**

Además, los derechos de riego tienen un coste de 330 € por hanegada, es decir, **3.960 € . ha⁻¹**, y teniendo en cuenta que la superficie total de la finca es de 1,05 Ha, el precio de total de los derechos de agua de riego, son de **4.158 €.**

Por otra parte, el coste del agua en la actualidad es de 0,22€ /m³ + IVA, lo que supone, para un consumo anual de agua de 5.747,90 m³ un coste anual de consumo de agua de **1.264,53 €.**

10. BIBLIOGRAFÍA

-BARRANCO, D.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; RALLO, L. (2001) *El Cultivo del Olivo. 4ª ed.* E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba. Ed.Mundi-Prensa- Junta de Andalucía. Madrid.

-CERDÁ, M.A.,(1989). *Estudio de las aguas de riego de la comarca de la Canal de Navarrés.* EUITA .UPV.Valencia.

-FERREIRA,J.; GARCÍA ORTIZ,A.; FRIAS, L.:(1984). *Los nutrientes N,P,K en la fertilización del olivar. X Aniversario Red Cooperativa Europea de investigación en Oleicultura.* Córdoba.

-GARCÍA, A. (2014). *Proyecto de riego por goteo de 10 ha de frutales en el municipio de Sant Boi de Llobregat.* Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC. Castelldefels.

-MANTOVANI, C.E. (1993).*Desarrollo y evolución de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos.* Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

- PASCUAL, B. *Apuntes de Fitotécnia*. Departamento de Producción Vegetal. ETSIA. UPV. Valencia. 156 pp.
- PASTOR M., HUMANES J. (1989). *Plantaciones intensivas del olivar*. Agricultura, 746:738-744 Ed. Agrícola Española, S.A.
- PERIS, M.; ROSELLÓ, J.; AÑÓ, C.; ANTOLÍN, C. (2001). *La calidad de las prácticas agrícolas en el proceso de transformación a la agricultura ecológica en Enguera y Anna (Comunidad Valenciana)*. Valencia.